

Problematika dusíku na ÚČOV v Ostravě

Petr Praus¹

Problems of Nitrogen at Central Municipal Water Works in Ostrava

Nitrogen is very important nutrient and must be removed during wastewater treatment process. The presented article describes the situation of nitrogen removal at the Central Municipal Water Works in Ostrava. At present, this biological sewage plant operates with only 45% nitrogen removal efficiency. The current three corridor denitrification-nitrification (D-N) system is planned to be reconstructed. One of several solutions is modification of the activation tank into four step D-N system that could be completed by postdenitrification in the redundant clarifiers.

In this paper the analytical methods, used for determination of nitrogen compounds in waste waters, are described as well. Only sufficiently precise and accurate methods must be selected and that is why the standardized or fully validated procedures are preferred. Laboratory results are used for monitoring of treatment process and for making of important technological decisions. For this purpose, introduction of the quality control and quality assurance system into laboratory practise is desired.

Key words: nitrogen, removal, determination, waste waters.

Úvod

Při procesu čištění se odpadní vody zpracovávají na úroveň kvality přírodních povrchových vod. Z odpadních vod se odstraňují suspendované a organické látky, bakterie a jiné organismy a nutriční prvky (dusík, fosfor). Způsob čištění se volí podle typu odpadních vod a podle nároků na jakost vyčištěné vody. Požadavky na složení vypouštěných odpadních vod do vod povrchových definuje nařízení vlády České republiky č. 82/1999 Sb. Poplatky za vypouštění odpadních vod do vod povrchových se stanovují na základě zákona č. 58/1998 Sb. a vyhlášky č. 293/2002 Sb. (dříve 47/1999 Sb). Z těchto dokumentů vyplývají nejen hodnoty maximálních povolených koncentrací vybraných látek, ale i četnost a způsob vzorkování.

V rámci Evropské unie byla přijata směrnice rady ES z 21.5. 1991 č. 91/271/EEC, která uložila svým členům identifikovat tzv. citlivé oblasti, ve kterých odtoky z čistíren o kapacitě nad 10000 ekvivalentních obyvatel (EO) musí po 1.1.1999 splňovat přísná kritéria pro fosfor a dusík. Pro celkový dusík je to průměrná roční hodnota 15 mg/l při kapacitě ČOV v EO 10000-100000 a 10 mg/l při kapacitě ČOV v EO nad 100000.

Cílem tohoto článku je demonstrovat situaci odstraňování dusíku na Ústřední čistírně odpadních vod (ÚČOV) v Ostravě a možnosti řešení efektivnější denitrifikace. Navržená technologická řešení vycházejí z dlouhodobých výsledků provozní laboratoře ÚČOV.

Ústřední čistírna odpadních vod v Ostravě

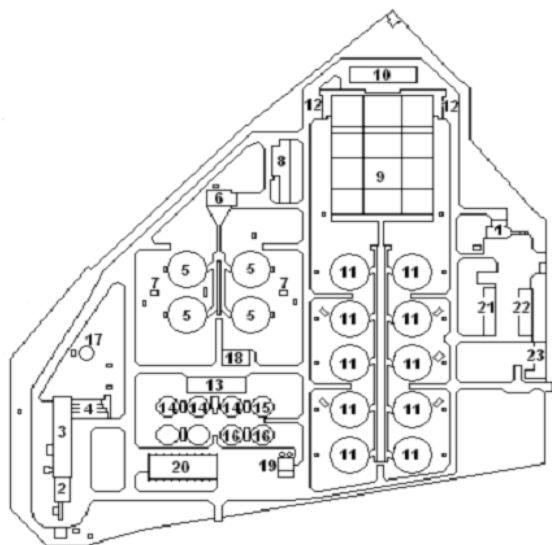
Ústřední čistírna odpadních vod byla uvedena do zkušebního provozu v roce 1996. Koncepce čištění je založena na mechanicko-biologickém čištění splaškových a průmyslových vod na principu nízkozatížené aktivace s nitrifikací a předřazenou denitrifikací. Přebytečný a primární kal je anaerobně stabilizován a odvodňován na odstředivce. Kapacitně je ÚČOV schopna čistit vodu pro 638000 EO. ÚČOV čistí odpadní městské vody, vody z potravinářského průmyslu, koncentrované fenol-čpavkové vody z koksoven Svoboda a Šverma, dočišťuje fenol-čpavkové vody z koksoven Vítkovice a Nová Huť. Malá část odpadních vod je dovážena cisternami. Schéma čistírny znázorňuje obr. 1.

Situace dusíkatých látek na ÚČOV v Ostravě

Sběr laboratorních dat

Koncentrace dusíkatých látek při čištění odpadních vod se sledují pravidelně na základě denních rozborů 24 hodinových slévaných vzorků na přítoku do ÚČOV, na přítoku do aktivace a na odtoku z ÚČOV. Analyzují se dusičnany, dusitany, amonné ionty, kyanidy, celkový dusík a organický dusík se dopočítává. Kromě pravidelných odběrů se provádějí operativní analýzy na základě aktuální situace čistírny. Laboratorní data se ukládají do centrální databáze, která je součástí laboratorního informačního a manažerského systému (LIMS). Laboratoř je umístěna ve správní budově ÚČOV a je centrálním pracovištěm pro celý podnik - Ostravské vodárny a kanalizace, a.s. Jako velmi praktické a operativní se ukázalo sdílení těchto dat i s vybranými

¹ Petr Praus: Vysoká škola báňská – TU Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Tř. 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba, Česká Republika, e-mail: petr.praus@vsb.cz (Recenzované a revidované verzia dodaná 25.3.2003)



pracovníky technologických provozů, kterým byl umožněn přístup do LIMS prostřednictvím podnikové počítačové sítě. Nezbytné je však omezení jejich pravomocí tak, aby nemohli manipulovat s daty a tisknout neautorizované protokoly. LIMS kromě jiného rovněž umožňuje statistické zpracování výsledků analýz a export výsledků do jiných databázových programů ve formátu *.dbf, případně MS Excelu.

Obr.1. Schéma ÚČOV v Ostravě. 1-čerpací stanice (ČS) odpadních vod na sběrači A, 2-vstupní šneková ČS na sběrači D, 3-jemné česle, 4-provzdušňované lapáky písku, 5-usazovací nádrže, 6-ČS mechanicky předčištěných vod, 7-ČS surového kalu, 8-trafostanice, 9-aktivační nádrže, 10-dmýchárna, 11-dosazovací nádrže, 12-ČS vráceného kalu, 13-budova kalového hospodářství, 14-vyhnívací nádrže, 15-uskladňovací nádrž kalu, 16-zahušťovací nádrže vyhnílého kalu, 17-plynojem, 18-energetické využití bioplynu, 19-odvodňovací stanice kalu, 20-krytá skládka, 21-garáže, 22-dílny a sklady, 23-provozní budova.

Fig.1. Scheme of the water and sewage treatment plant (WSTP) in Ostrava.

Kvalita laboratorních dat

Kvalita laboratorních dat, tj. jejich dostatečná přesnost a správnost, je základním požadavkem monitoringu vybraných parametrů, které charakterizují účinnost čištění odpadních vod. Výrazné zvýšení kvality dat bylo dosaženo zavedením systému jakosti dle ČSN EN ISO 45001 a později dle ČSN EN ISO/IEC 17025 (2001). Tím postupně došlo k zavedení nových normalizovaných metod, modernizaci přístrojů a vybavení výpočetní technikou, zavedení LIMS, větší motivaci pracovníků. Trvale se provádí vnitřní a vnější kontrola jakosti formou statistické regulace a formou účasti na mezilaboratorním porovnávání. Laboratoř je akreditována Českým institutem pro akreditaci o.p.s.

Použité metody sledování dusíkatých látek

Pro analýzu anorganických dusíkatých látek a celkového dusíku se používají standardní operační postupy založené na současných normalizovaných postupech. Ke stanovení amoniakových iontů se používá metoda se salicylanem a chlornanovými ionty v přítomnosti nitroprusidu sodného (ČSN ISO 7150-1, 1994). Ukázalo se, že destilace odpadních vod není nutná a v důsledku vysoké citlivosti metody stačí pouhé ředění vzorků.

Pro stanovení dusičnanů se používá metoda se salicylanem dle ČSN ISO 7890-3 (1994). Objemné skleněné nebo porcelánové misky pro odpařování vzorků na vodní lázni byly nahrazeny krevními zkumavkami objemu cca 10 ml, do kterých se dává pouze 1 ml vzorku. Odpařování se provádí v sušárně při 160°C. Doba analýzy se zkrátí a zjednoduší se manipulace se vzorky (Krýsl et al., 2001).

Stanovení dusitanů se provádí normalizovaným postupem, při kterém dusitany reagují v kyselém prostředí kyseliny fosforečné s 4-aminobenzen-sulfonamidem za vzniku diazoniové soli. Tato sůl reaguje s N-(1-naftyl)-1,2-ethylendiaminem za vzniku červeno-fialového azobarviva (ČSN EN 26777, 1995).

Celkový dusík se stanovuje jako dusičnany po oxidační mineralizaci s peroxodisíranem dle Koroleffa (ČSN EN ISO 11905-1, 1999). K analýze byl výhodně použit rozklad v alkalickém prostředí NaOH místo doporučeného prostředí boraxu (Krýsl et al., 2001). Během oxidace se roztok okyseluje a lze tak mineralizovat i vzorky pro stanovení celkového fosforu.

Veškeré kyanidy se stanovují podle postupu ČSN ISO 6703-1 (1994), kdy se destilují z okyseleného vzorku v přítomnosti iontů dvojmocné mědi. Uvolněný kyanovodík se zachycuje v alkalickém absorpčním roztoku, v kterém se stanovuje spektrofotometricky po reakci s chloraminem T, pyridinem a kyselinou barbiturovou. Stanovení thiokyanátů je založeno na tvorbě červeného thiokyanatanu železitého.

Před analýzou se vzorky odpadních vod homogenizují na zařízení Ultra-Turrax s nástavcem S25-18G (IKA-Werke, Staufen, SRN).

Současný stav odstraňování dusíku

Pro ilustraci situace čištění odpadních vod na ÚČOV v Ostravě je uvedeno střední složení vod na přítoku do ÚČOV (tab. 1), na přítoku do aktivace (tab. 2) a na odtoku (tab. 3). Jako střední hodnoty byly použity mediány. Při výpočtech N_{org} byl zanedbán vliv kyanidů a thiokyanátů, které pocházejí z koksárenských fenol-čpavkových vod z koksoven Svoboda a Šverma a které se míchají s mechanicky předčištěnou vodou před vstupem do aktivace. Složení této směsi demonstruje tabulka 2. Koncentrace thiokyanátů se v surové

koksárenské vodě pohybují v rozmezí 400 až 600 mg/l, na vstupu do aktivace v rozsahu 2 až 7 mg/l a na výstupu z ÚČOV 0,2 až 0,5 mg/l.

Tab.1. Parametry (mg/l) odpadní vody na přítoku do ÚČOV.
Tab.1. Parameters (mg/l) of the waste water in the flow to the WSTP.

rok	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	N _C	N _{org}	P _C	BSK ₅	CHSK _{Cr}
1998	30.8	2.08	3.66	36.7	11.2	6,92	160	401
1999	32.3	1.32	3.02	38.4	12.1	6,56	156	372
2000	34.1	1.58	2.02	38.9	11.4	6,67	177	387
2001	40.8	0.83	0.83	40.8	8.62	6,25	191	386

Byl sledován i vliv kyanidů z koksárenského odpadu na průběh nitrifikace (Papřoková, 1998). Simulovaný provoz čistírny na modelu prokázal, že kyanidy nemají na provoz aktivace vliv ani v koncentraci 1,86 mg/l.

Z uvedených hodnot je zřejmá velmi dobrá účinnost čištění pro BSK₅ cca 95% a pro CHSK_{Cr} cca 85%. Podle hodnot amonných iontů v odtoku je vidět dobrou funkci nitrifikační části aktivace. Naopak, nedostatečná je denitrifikace s účinností cca 45%. Teoreticky by měla při celkové recirkulaci 250% být účinnost denitrifikace 71,4% (250/350≈0,714). Průběh hodnot dusíkových forem v roce 2001 znázorňuje obr. 2. Uvedeny jsou mediány vyčíslené z výsledků za kalendářní měsíce.

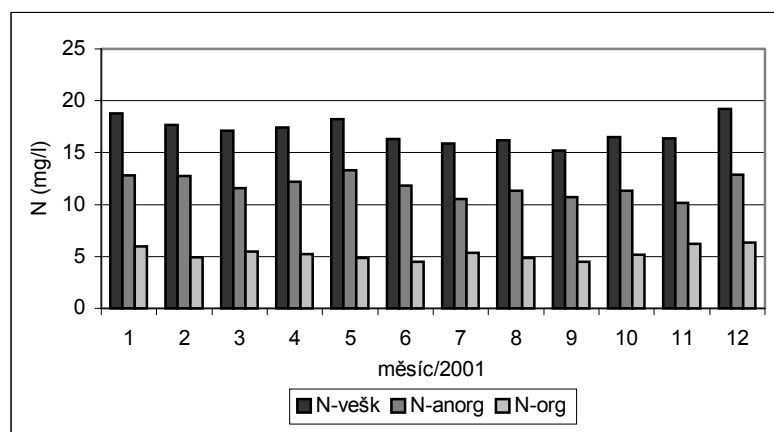
Tab.2. Parametry (mg/l) odpadní vody na přítoku do aktivace ÚČOV.
Tab.2. Parameters (mg/l) of the waste water in the flow to the WSTP activation.

rok	NH ₄ ⁺	N _C	P _C	fenoly	CN ⁻	BSK ₅	CHSK _{Cr}
1998	34.8	36.4	2,50	3.5	0.444	112	217
1999	34.9	37.0	4,38	1.6	0.357	104	203
2000	35.0	37.8	5,61	1.1	0.283	134	230
2001	36.8	38.4	4,40	1.5	0.301	133	233

Tab.3. Parametry (mg/l) odpadní vody na odtoku z ÚČOV.
Tab.3. Parameters (mg/l) of the waste water in the flow from the WSTP.

rok	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	N _C	N _{org}	P _C	BSK ₅	CHSK	CN ⁻
1998	0,300	71,4	0,145	19,6 (21,8)	3,2 (5,7)	4,62	6,75	50,3	0,214
1999	0,168	82,8	0,167	20,5 (22,8)	1,6 (4,1)	1,46	5,54	41,2	0,194
2000	0,233	64,5	0,148	19,6	4,8	0,73	4,72	36,2	0,098
2001	0,232	50,4	0,193	17,2	5,6	0,58	4,52	34,2	0,105

Pozn.: () - hodnoty korigované účinností mineralizace dusičnanů.



Obr.2. Průběh hodnot dusíku na odtoku ÚČOV v roce 2001.
Fig.2. Course of the nitrogen value in the flow from the WSTP in 2001.

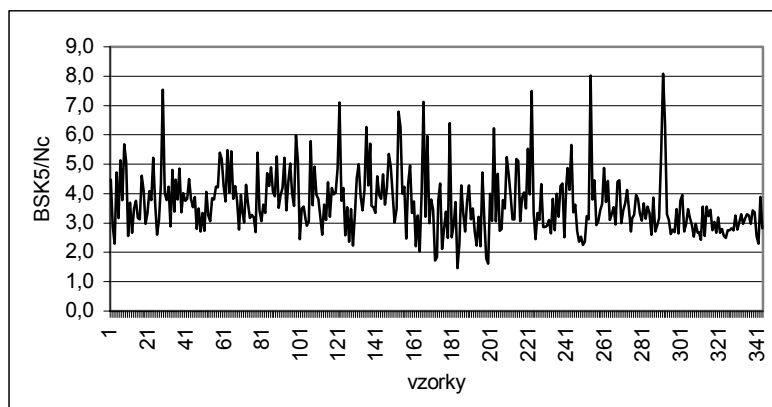
Vliv volby analytické metody na výsledky stanovení celkového dusíku

V letech 1996 až 1999 byl celkový dusík stanovován metodou dle Kjeldahla s floroglucinolem (ČSN 83 0540-část 13, 1985). Od začátku roku 2000 byl veškerý dusík stanovován oxidační metodou podle Koroleffa (ČSN EN ISO 11905-1, 1999) v souvislosti s normalizací tohoto postupu. Snaha o dřívější zavedení tehdy ještě nenormalizované oxidační metody, při které odpadají problémy s kjeldahlizací dusičnanů, narážela na nedůvěru pracovníků z čistírenské praxe. Jak je vidět z tabulky 3, s novou metodou se výsledky celkového dusíku na odtoku ÚČOV významně nezměnily, ale objevil se výrazný nárůst v hodnotách organického dusíku. Situace se

vyjasnila až když byly hodnoty z let 1998 a 1999 přepočteny cca 90%ní účinností Kjeldahlovy mineralizace dusičnanů, které ve vyčištěné vodě převažují (na roztocích KNO_3 zjištěno $90 \pm 3\%$). Přestože tento způsob korekce není zcela exaktní, protože se koriguje současně i výtěžnost mineralizace organického dusíku, poskytuje důležitou informaci pro technologii čištění. Dodatečně se tím zjistilo, že hodnoty celkového dusíku byly v minulosti vyšší než se předpokládalo a že hodnoty organického dusíku byly i tehdy vyšší než běžné odtokové koncentrace do 3 mg/l. Důvod zvýšené koncentrace N_{org} není dosud objasněn.

Analýza příčin nedostatečné denitrifikace

Příčiny nedostatečné denitrifikace lze hledat v nedostatečném poměru mezi množstvím celkového dusíku k denitrifikaci a množstvím BSK_5 (obr. 3) a v krátké době kontaktu v denitrifikaci. Předpokládá se také inhibice denitrifikace kyslíkem, vneseným z nitrifikační části při vnitřní recirkulaci.



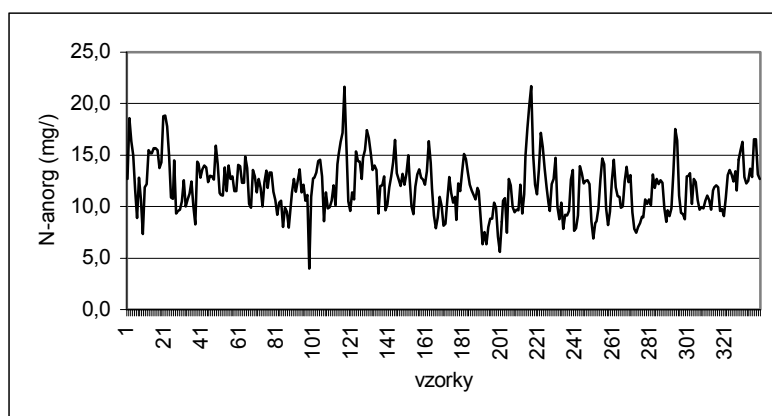
Obr.3. Poměry BSK_5/N_c na přítoku do aktivace ÚČOV v roce 2001.
Fig.3. Ratio of BSK_5/N_c in the flow to the WSTP activation in 2001.

Na odstranění 1 g N-NO_3^- je teoreticky třeba 2,86 g BSK_5 . Doporučený poměr BSK_5/N je cca 4. Střední hodnota vyjádřená mediánem za rok 2001 je 3,5. Tento poměr je dále snižován v letních obdobích, kdy dochází k vyššímu rozkladu organických látek již v kanalizaci a tím ke snížení potřebné BSK_5 . Množství celkového dusíku je však zachováno.

Bakterie přednostně spotřebovávají molekulární kyslík před dusičnanovým kyslíkem, protože je energeticky výhodnější. Při koncentraci kyslíku nad 0,5 mg/l se zastavuje denitrifikace a již koncentrace 0,2 mg/l způsobuje 50% inhibici. Vzhledem k vysokému poměru vnitřní recirkulace ($R=1,5$) lze tento efekt očekávat.

Doba kontaktu v denitrifikaci je 0,9 až 1 hodinu. Doporučená doba je >1 hodina (ČSN 754601, 1996). Reálná doba je tedy na spodní hranici doporučené doby.

Pro anorganický dusík platí dle nařízení vlády č. 82/1999 Sb. limitní hodnota 15 mg/l. Jak znázorňuje obr. 4, byla tato hranice v roce 2001 při denních měřeních přesahována. V souvislosti s požadavkem směrnice Evropské unie 91/271/EEC na průměrnou roční koncentraci celkového dusíku 10 mg/l, je tato hodnota zapracována i do návrhu novelizace N.V. 82/1999 Sb. (pro obce s $\text{EO}>100\,000$) a bude v budoucnu požadována. Z obr. 4 je zřejmé, že hranice 10 mg/l anorganického dusíku byla přesahována velmi často.



Obr.4. Průběh hodnot anorganického dusíku v roce 2001.
Fig.4. Course of inorganic nitrogen value in 2001.

Technologické řešení účinnější denitrifikace

Cílové koncentrace celkového dusíku 10 mg/l dosahují tyto aktivační systémy: oběhová aktivace, systém s předřazenou denitrifikací a regenerací kalu (R-D-N), kaskádové systémy (ALPHA, R-D-N-D-N), diskontinuální systémy (SBR a Bio-denitro) a použití terciární postdenitrifikace. Při výběru vhodné technologie se musí přihlížet ke stávajícímu uspořádání a k přizpůsobení nové technologie stávajícímu stavu. Z těchto důvodů lze z uvedených variant vyloučit diskontinuální systémy a oběhovou aktivaci. Potenciálně využitelné tedy jsou systémy: R-D-N, kaskádový systém ALPHA, kaskádový systém R-D-N-D-N, systém s postdenitrifikací.

Z předložených variant, které vesměs vycházejí z rozsáhlé rekonstrukce současné aktivity na čtyřkoridorový R-D-N a D-N systém s postdenitrifikací a využívají methanol jako externí substrát, je nejzajímavější řešení Batěka et al. (2002). Maximální měrou vychází z rezerv předimenzované ÚČOV, která byla původně projektovaná pro dvojnásobný počet dnešní populace Ostravy. Návrh nové technologie obsahuje:

- ❑ Využití volné kapacity usazovacích nádrží pro hydrolyzu surového, případně jen primárního kalu. Tím se uvolní mastné kyseliny, které zvýší hodnotu BSK_5 na přítoku do aktivity a zlepší poměr BSK_5/N_C pro denitrifikaci.
- ❑ Přebytkový kal se nebude dále anaerobně stabilizovat ve vyhnívacích nádržích, ale přímo se odvodní s vyhnílym primárním kalem. Tím se sníží zpětný tok dusíku ve fugátu na začátku čištění. Důsledkem bude opět pozitivní ovlivnění poměru BSK_5/N_C .
- ❑ Kalová voda se bude akumulovat a řízeně vypouštět do aktivity pro optimalizaci poměru BSK_5/N_C .
- ❑ Systém aktivity bude přestavěn na kaskádu se čtyřmi jednotkami D-N. Tím se zvýší teoretická účinnost denitrifikace na 87,5%. Čtyřkaskádový systém se vytvoří v každém ze stávajících koridorů. Vyloučí se tak vnitřní recirkulace a zvýší se doba kontaktu v nitrifikaci a denitrifikaci. Je možné uvažovat o vnitřní recirkulaci v prvním stupni kaskády, kde jsou ještě větší koncentrace dusičnanů.
- ❑ Další redukce dusíku je možná zařazením postdenitrifikace v prvních dvou využívaných dosazovacích nádržích. Postdenitrifikace bude využívána hlavně v letních měsících, kdy nastává nedostatek organických látek v důsledku předčasného rozkladu již v kanalizaci. Případné zvýšení účinnosti denitrifikace se provede dávkováním vhodného substrátu.

Byly vypočteny základní parametry kaskádové aktivity pro koncentraci kalu v aktivaci 5 kg/m^3 a koncentraci vráceného kalu 10 kg/m^3 : objem nitrifikace 42313 m^3 , objem denitrifikace 20125 m^3 , stáří kalu 15,4 dne, zatížení kalu BSK_5 v aktivaci $0,07 \text{ kg/kgd}$, hydraulická doba zdržení v aktivaci 10,3 hod. Hlavní hmotnostní toky dusíku před úpravou a po úpravě ÚČOV demonstruje tab. 4.

Tab.4. Hlavní hmotnostní toky dusíku v procesu čištění na ÚČOV.
Tab.4. Main mass flows of nitrogen in the treatment process at WSTP.

Určení místa výskytu	Před úpravou (% N)	Po úpravě (% N)
přítok + vstup koksoven	100	100
odlehčení	3	3
odtok	46	19 (9)
vyhníly kal	14	4
odvodněný kal	15	4
přebytkový kal	20	20
kalová voda	14	4
odstraněný denitrifikací	27	52 (62)

Pozn.: () - hodnoty při zařazení postdenitrifikace.

Při hledání vhodného zdroje externího substrátu se nabízí možnost odpadní vody z výroby bionafy nebo syrovátka. Bezdušičatá odpadní voda z blízké celulózky Biocel Paskov není vhodná kvůli vysokému obsahu biologicky nerozložitelných látek, které by se projevíly nárůstem $CHSK_{Cr}$ v odtoku.

Některé teoretické předpoklady je však ještě nutno ověřit laboratorními pokusy:

- Stanovení výtěžnosti BSK_5 z hydrolyzy primárního kalu. Vychází se ze zkušeností ČOV v Lanškrouně, kde z 1 kg kalu vzniká po 24 hodinách a při laboratorní teplotě asi $0,02 \text{ kg } BSK_5$.
- Vyhnívací zkoušky primárního kalu s určením produkce, složení bioplynu a složení kalové vody.
- Stanovení produkce a složení bioplynu při vyhnívání přebytkového kalu.
- Stanovení denitrifikační rychlosti v postdenitrifikaci.
- Stanovení odvodňovacích vlastností přebytkového kalu a směsi vyhnílého primárního a přebytkového kalu.

Závěr

Problematika odstraňování dusíku je vzhledem k současným legislativním požadavkům velice aktuální. Spolehlivé informace o složení čištěných vod jsou základním předpokladem pro posouzení účinnosti stávající technologie a případné plánování jejího dalšího zdokonalení. Kvalitní laboratorní výsledky jsou založeny na

používání normalizovaných nebo jiných dostatečně validovaných metod, které jsou pod stálou vnitřní a vnější kontrolou jakosti. Úroveň laboratorní práce se výrazně zlepšila zavedením systému kontroly a řízení jakosti.

Na základě analýzy situace odstraňování dusíkatých látek z odpadních vod během biologického čištění se zjistilo, že nedostatečná účinnost denitrifikace (45%) je způsobena nízkou koncentrací substrátu (BSK_5) v surové odpadní vodě, krátkou dobou kontaktu v denitrifikaci a zřejmě i inhibicí kyslíkem vneseným interní recirkulací. Posílení denitrifikace je základem navrhovaných řešení přestavby ÚČOV.

Z předpokládaných variant se zdá být nejvýhodnější ta, při které se nepředpokládá dávkování externího substrátu a která maximální měrou vychází ze současného stavu ÚČOV. Principem je vytvoření kaskádového systému se čtyřmi jednotkami D-N, který vznikne přestavěním současné aktivace. Tím by se teoreticky účinnost denitrifikace zvýšila na 87,5%. Chybějící BSK_5 lze nahradit mastnými kyselinami, které vzniknou hydrolyzou surového kalu v nadbytečném prostoru usazovacích nádrží. Naopak, rezerv v dosazovacích nádržích lze využít k případné postdenitrifikaci.

Literatura

- BATĚK J., KAZDA O. a PETŘIVALDSKÝ L.: ÚČOV Ostrava - plnění ukazatelů pro citlivá území. Ostrava, KONEKO spol. s r.o., 42 s.
- ČSN 7150-1: Stanovení amonných iontů. Část 1: Manuální spektrofotometrická metoda. Český normalizační institut, Praha, 1994, 12 s.
- ČSN 754601: Čistírny odpadních vod pro více než 5600 ekvivalentních obyvatel. Český normalizační institut, Praha, 1996, 30 s.
- ČSN 83 0540, část 13: Stanovení organického a veškerého dusíku. Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření. Praha, 1985, 4 s.
- ČSN EN 26777. Jakost vod - Stanovení dusitanů. Molekulární absorpční spektrofotometrická metoda. Český normalizační institut, Praha, 1995, 12 s.
- ČSN EN ISO 11905-1. Jakost vod-Stanovení dusíku-část 1: Metoda oxidační mineralizace peroxodisíranem. Český normalizační institut, Praha, 1999, 20 s.
- ČSN EN ISO/IEC 17025. Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří. Český normalizační institut, Praha, 2001, 48 s.
- ČSN ISO 6703-1. Jakost vod. Stanovení veškerých kyanidů. Český normalizační institut, Praha, 1994, 12 s.
- ČSN ISO 7890-3: Jakost vod. Stanovení dusičnanů, část 3: Spektrometrická metoda s kyselinou sulfosalicilovou. Praha, Český normalizační institut, 1994, 8 s.
- KRÝSL S., PRAUS P. a MATĚJKA V.: Stanovení celkového dusíku ve vodách pomocí oxidační mineralizace. Vodní hospodářství, 10 (2001), s. 292-293.
- PAPŘOKOVÁ, J.: Vliv kyanidů na nitrifikační proces. Diplomová práce. VŠB-TUO, Ostrava, 1998, 60 s.